

# LOS OVOIDES(\*)

Por ENRIQUE MENDILUCE

Dr. Ingeniero Industrial

*Se hace un estudio comparativo de las ventajas e inconvenientes de la utilización en conducciones de saneamiento de secciones en forma de ovoide o circular, poniéndose de manifiesto las escasas ventajas de las primeras y sus numerosos aspectos negativos, tanto en cuanto a funcionalidad como en ejecución, coste, etc., llegando el autor a una conclusión totalmente favorable al uso de secciones circulares y en contra de la utilización de ovoides.*

## 1. Introducción.

La implantación, por el Ministerio de la Vivienda, de la norma NTE, relativa a la construcción de alcantarillados, en la que recomienda exclusivamente la instalación de ovoides de determinadas secciones y el recelo que nos causa la persistente vigencia de conclusiones obtenidas en tiempos pretéritos que, en general, tardan en ser revisadas, a la luz de la evolución de las circunstancias que en su día las justificaron, nos induce a realizar un estudio respecto a la verdadera utilidad de los conductos de sección ovoide normal 2/3, frente a los de sección circular, que en lo sucesivo llamaremos tubo.

Es inmediato encontrar en la bibliografía las dos ventajas que se atribuyen a los ovoides, que son su funcionalidad hidráulica y su visitabilidad, pero para hacer la elección acertada de un material, no creemos suficiente conocer dos de sus buenas cualidades, sin indagar sobre la trascendencia relativa de las mismas, olvidando otras circunstancias fundamentales, como el costo, rugosidad, juntas, instalación, etc.

Por ello nos proponemos en este trabajo hacer un estudio comparativo entre conductos equivalentes de ambas secciones, para destacar sus características respectivas.

## 2. Funcionalidad hidráulica.

### 2.1. Velocidades.

Para comparar la funcionalidad hidráulica del ovoide y de la sección circular, partimos

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de noviembre de 1974.

de su igualdad de caudal a conducto lleno, en igualdad de pendiente y rugosidad interior, determinando la relación de radios resultantes.

Utilizaremos los símbolos siguientes:

- $Q_o, Q_t$  = caudal a sección llena del ovoide y del tubo.
- $q_o, q_t$  = caudal a sección parcial del ovoide y del tubo.
- $V_o, V_t$  = velocidad a sección llena del ovoide y del tubo.
- $v_o, v_t$  = velocidad a sección parcial del ovoide y del tubo.
- $S_o, S_t$  = superficie a sección llena del ovoide y del tubo.
- $r_o, r_t$  = radio geométrico del ovoide y del tubo.
- $R_o, R_t$  = radio hidráulico del ovoide y del tubo.
- $P_o, P_t$  = perímetro de la sección del ovoide y del tubo.
- $j$  = pendiente de la rasante o pérdida de carga.

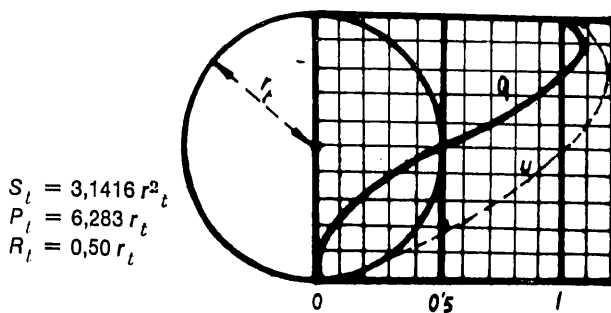
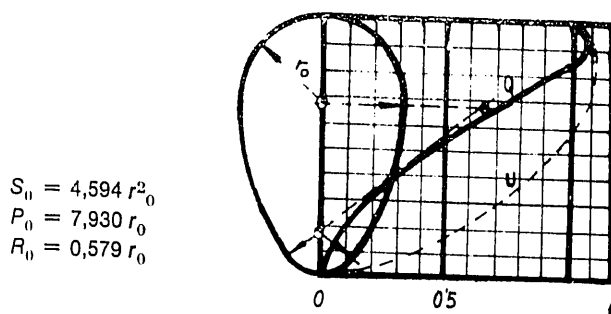


Figura 1.

Aplicando la fórmula de Manning y teniendo a la vista los diagramas respectivos y los valores característicos de ambas secciones (figuras 1), tendremos:

$$Q_l = V_l S_l = \frac{1}{n} (0,5 r_l)^{2/3} j^{1/2} \times 3,1416 r_l^2$$

$$Q_0 = V_0 S_0 = \frac{1}{n} (0,579 r_0)^{2/3} j^{1/2} \times 4,594 r_0^2$$

Igualando como hemos indicado y operando, obtenemos:

$$r_l = 1,196 r_0$$

es decir, que la proporción de ambas secciones será la de la figura 2.

La equivalencia de radios será la siguiente:

| Ovoide<br>cm | Tubo<br>cm |
|--------------|------------|
| 60/90        | 71         |
| 70/105       | 83         |
| 80/120       | 95         |
| 90/130       | 107        |
| 120/180      | 143        |
| 140/210      | 167        |

La relación entre el caudal mínimo de aguas negras y el máximo a evacuar por la sección en caso de lluvia, dependerá de la pluviometría y de las características específicas de la

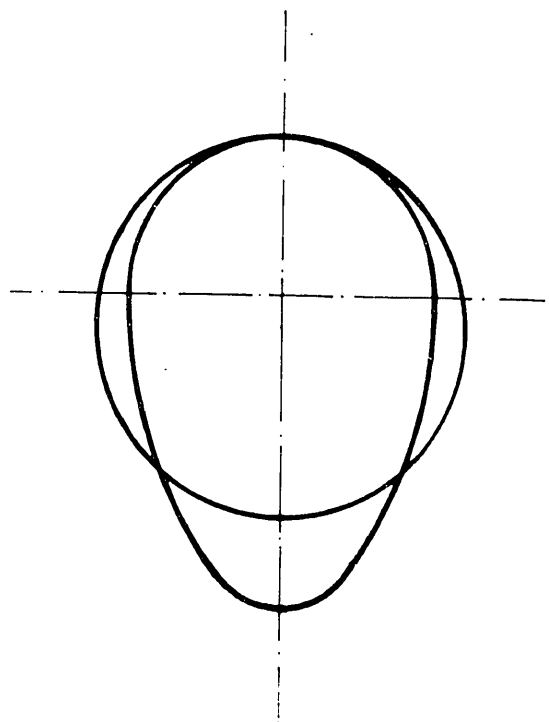


Fig. 2. — Comparación de secciones.

localidad, no siendo probable que el primero sea menor del 5 por 100 del segundo y a esta proporción vamos a referir nuestras consideraciones.

En las figuras 3 y 4 hemos reproducido parcialmente a la misma escala los diagramas que figuran en la Instrucción para Estudio y Redacción de Proyectos de Saneamientos de 1964 del Ministerio de Obras Públicas, relativos al ovoide y al tubo.

Fig. 3. — Diagrama hidráulico del ovoide.

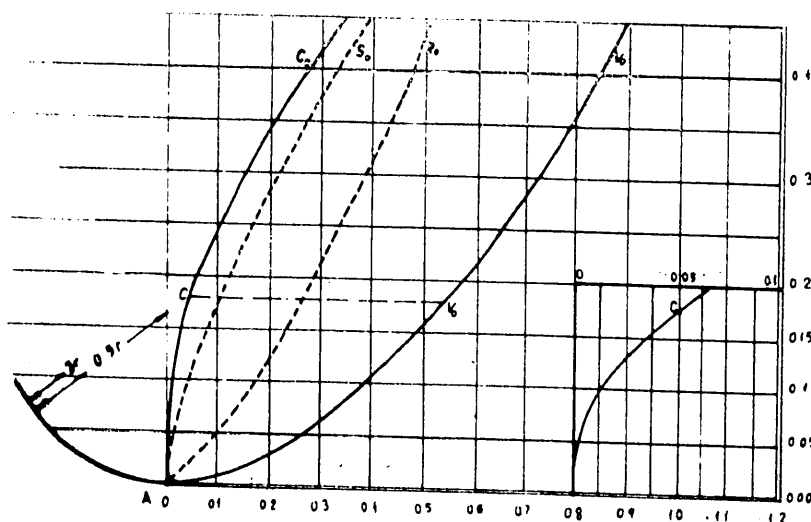
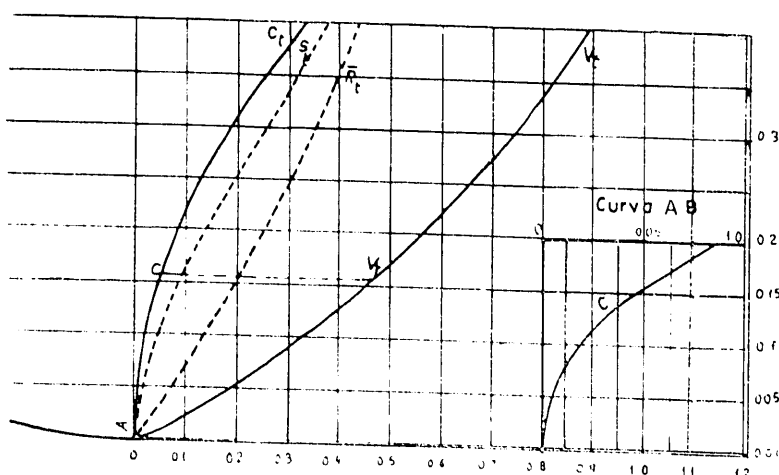


Fig. 4. — Diagrama hidráulico del tubo.



Como se sabe, en estos gráficos, las ordenadas nos dan los calados relativos en cuadrículas que representan el 5 por 100 del total, como se aprecia en la figura 5, y las abscisas representan caudales, secciones, radios hidráulicos y velocidades relativas, correspondientes a cada calado.

Si en las figuras citadas tomamos el punto C, que corresponde al caudal 5 por 100 del total y trazamos la paralela al eje de abscisas, obtenemos las velocidades relativas  $v_o$  y  $v_t$  que para ese caudal lleva el agua en el ovoide y en el tubo, valores relativos que son los siguientes:

| Caudal               | Ovoide           | Tubo             |
|----------------------|------------------|------------------|
| $q_o = q_t = 0,05 Q$ | $v_o = 0,53 V_o$ | $v_t = 0,47 V_t$ |

Admitiendo que las velocidades  $V_o$  y  $V_t$  a sección llena en ovoide y tubo equivalente, son iguales:

$$v_o = 1,10 v_t$$

Estos resultados confirman que, efectivamente, a igualdad de pendiente, rugosidad y caudal, la sección ovoide ligeramente llena proporciona mayor velocidad, de forma que si en un ovoide un caudal de aguas negras que alcance el 5 por 100 del caudal máximo, lleva una velocidad de 0,50 m/s, en el tubo equivalente llevaría 0,45 cm/s, pero esta mínima diferencia de velocidad no puede éticamente considerarse como ventaja funcional práctica, ya que con independencia de las consideraciones que hacemos a continuación, 5 cm/s de velocidad no pueden representar diferencia

práctica en el funcionamiento hidráulico de ambas secciones.

Por otra parte la experiencia demuestra que en conductos de menor sección, como la parte baja de un ovoide, los atrancos producidos por los cuerpos extraños, que constantemente penetran en los saneamientos, son notablemente mayores, lo que puede invalidar aquella mínima ventaja.

La fijación del límite mínimo de velocidad es puramente subjetiva, dándose el caso de que la vigente instrucción a que antes nos hemos referido, establece este mínimo en 0,50 m/s, mientras que la Comisión de Urbanismo de Barcelona la eleva a 0,60 m/s, de forma que si el ovoide cumple la recomendación de esta Comisión, el tubo equivalente cumpliría la del Ministerio de Obras Públicas, con la misma pendiente, rugosidad y caudal.

En cuanto a calado, podemos asimismo comprobar que para el caudal analizado éste será del 16 por 100 en el tubo y del 18 por 100 en el ovoide, diferencia de mínima repercusión práctica.

En la figura 5 hemos superpuesto los diagramas de ambas secciones, comprobando que las velocidades en el tubo son superiores a las del ovoide equivalente a partir de un calado del 25 por 100, y el caudal máximo a tubo parcialmente lleno puede llegar a ser del orden de un 4 por 100 superior al del ovoide en condiciones similares, circunstancia que representa, en su medida, un menor riesgo de inundación con lluvias intensas.

Para desprenderse de todo lo que antecede que la mayor funcionalidad que se le atribuye al ovoide puede decirse que es pura-

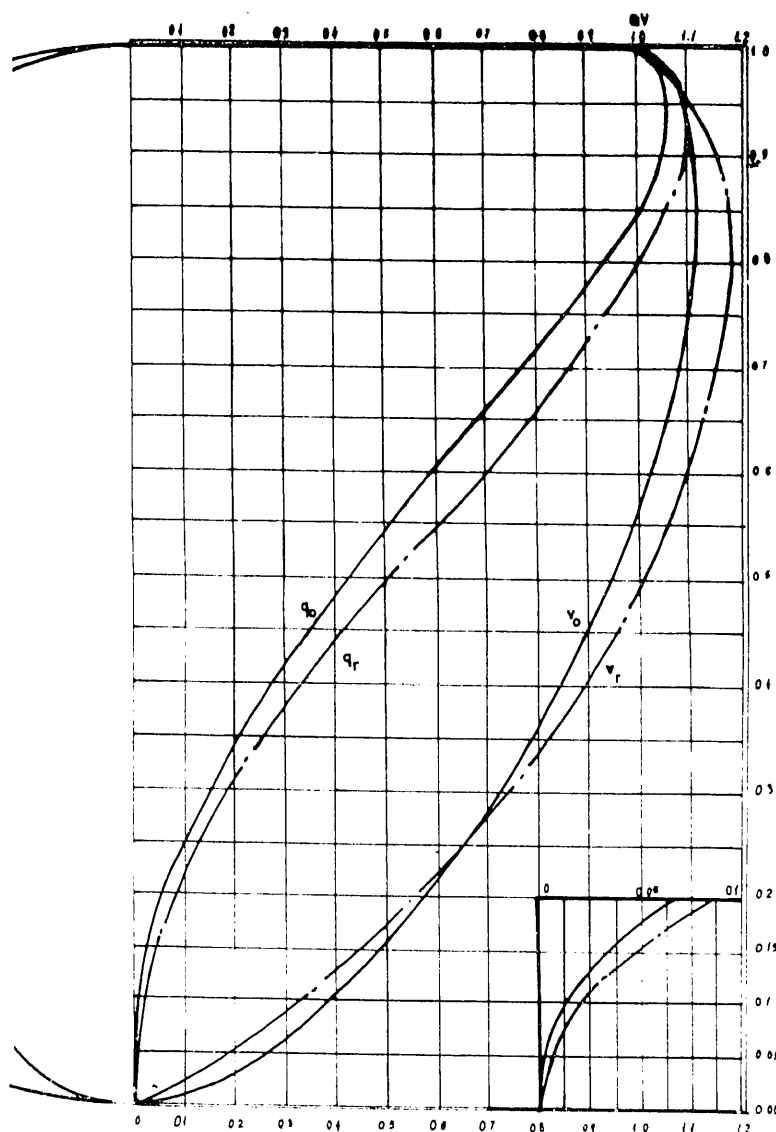


Fig. 5. — Superposición de diagramas hidráulicos del ovoide y del tubo.

mente académica, tratándose evidentemente de la resolución de un problema teórico de una forma meritoriamente ingeniosa, pero en la práctica resulta poco sustanciosa la ventaja que aporta en el aspecto hidráulico, aun valorada de manera totalmente aislada de otras circunstancias.

## 2.2. Pendientes.

Hemos visto que, efectivamente, con la misma pendiente y admitiendo la misma rugosidad, la sección ovoide proporciona mayor velocidad que la circular, pero esta circunstancia, que

es ventajosa en su leve medida para velocidades que se aproximan al límite mínimo, será desfavorable cuando se aproximan al límite máximo e indiferente para valores intermedios.

Quiere esto decir que únicamente en aquellos ramales de saneamiento en que por falta de pendiente del terreno, sea necesario alambicar la pendiente de la rasante en evitación de grandes profundidades de excavación, cabe pensar en esta circunstancia dinámica.

Vamos a determinar el aumento de pendiente que será necesario dar a la rasante para que un caudal 0,05 del máximo a ovoide lleno,

circule por el tubo equivalente, a la misma velocidad que llevaría en el ovoide.

Dada la relación de velocidades antes determinada para el caudal indicado:

$$v_o = 1,10 v_t = 1,10 \cdot 0,47 \cdot \frac{1}{n} (0,5 r_t)^{2/3} \cdot j^{1/2} =$$

$$= 1,10 A j^{1/2} = A' j^{1/2}$$

$$j' = 1,21 j$$

Es decir, que para que el tubo transporte un caudal 5 por 100 del máximo, a una velocidad igual a la que llevaría el mismo caudal en el ovoide equivalente, es suficiente incrementar la pendiente de la rasante en un 21 por 100.

Para concretar, indiquemos que si esta pendiente en el ovoide es de un metro por kilómetro, en el tubo tendría que ser 21 centímetros por kilómetro mayor, diferencia que tendría escasa repercusión en la profundidad de la zanja, en el volumen de excavación y en el número de pozos de descenso, etc.

### 2.3. Visitabilidad.

La calificación de "visitable" para un conducto es también subjetiva, ya que depende de la comodidad que se considere compatible con las labores interiores que justifican la visita.

Tratándose de saneamientos, nos atrevemos a afirmar que para que un conducto pueda considerarse visitable, debe permitir su circulación interior a pie enjuto y su altura mínima debe ser de 2 metros, únicas condiciones en las que la persona que penetre pueda realizar la labor de limpieza.

Aceptando un criterio más amplio, podría llevarse la calificación de visitables hasta los conductos que por lo menos tengan 1,80 m de altura, aunque fuese necesario introducirse en la corriente de agua, pero en este caso el ovoide 120/180 sería visitable y el tubo equivalente de 150, no, limitándose a este caso la ventaja de ovoide, ya que por encima de estas dimensiones ambos serían visitables y por bajo ninguno.

Verdaderamente resulta también precaria esta otra ventaja atribuida al ovoide.

Expuestas en su verdadero valor las hasta ahora poco discutidas ventajas del ovoide, pasamos a exponer sus inconvenientes de forma sucinta, ya que son sobradamente conocidas.

### 2.4. Rugosidad del conducto.

En el apartado 1.9 volveremos sobre este tema al contemplar la mejora introducida en la rugosidad de los tubos, consecuencia de los modernos sistemas de fabricación y el aumento de su longitud, no aplicables al ovoide, pero por el momento consignaremos que no es correcto atribuir la misma rugosidad al tubo de hormigón centrifugado que al ovoide moldeado, y que el primero presenta una superficie interior más lisa que la del ovoide, siendo suficiente que la diferencia del valor de  $n$  sea de 0,001 favorable al tubo, para que la velocidad que se comenta sea la misma en el ovoide que en el tubo, con la misma pendiente.

### 2.5. Costo de adquisición.

Teniendo a la vista una tarifa de tubos y ovoides de hormigón de un metro de longitud, recién puesta en vigor, establecemos la siguiente comparación de precios entre conductores equivalentes:

| Diámetro | T u b o<br>Ptas/m | Medidas | O v o i d e<br>Ptas/m |
|----------|-------------------|---------|-----------------------|
| 100      | 870               | 80/120  | 1.442                 |
| 150      | 1.673             | 120/180 | 2.636                 |

es decir, que el precio de adquisición en fábrica del ovoide es, aproximadamente, el 60 por 100 superior al del tubo equivalente.

### 2.6. Peso.

De la misma fuente de información utilizada en el apartado anterior, obtenemos que la diferencia de pesos es del 26 por 100 superior en el ovoide que en el tubo.

### 2.7. Excavación.

La simple inspección de la figura 2 demuestra que la profundidad de excavación para la instalación del ovoide es mayor que la necesaria para el tubo equivalente, y esta diferencia

será de  $0,6 r_0$ , ya que lógicamente ha de partirse de la profundidad mínima de la arista superior en ambos casos.

Resultará evidente que en ningún caso podrá representar el menor inconveniente dar a la rasante unos pocos centímetros por kilómetro de mayor pendiente para compensar la mínima diferencia de velocidad favorable al ovoide, y aun así se seguirá ahorrando profundidad de zanja.

### 2.8. *Instalación en obra.*

No es necesario extendernos en este punto, ya que tanto los directores de obra como los constructores conocen la laboriosidad y el notable costo que representa la manipulación y presentación en zanja de los ovoides, que además de su notable peso, presentan una superficie inferior plana de un metro cuadrado aproximadamente, de costosa nivelación sobre la solera, si se tiene en cuenta que la pendiente a controlar será siempre de escasos milímetros por metro.

Como consecuencia, no creemos exagerado estimar que el costo de la colocación en zanja y la construcción de las juntas sea el doble en el ovoide que en el tubo.

## 3. **Evolución de los conductos.**

Hemos procurado plantear esta comparación limitándola a los materiales que hasta ahora han venido utilizándose en los saneamientos, para hacerla más real y objetiva.

Sin embargo, no es posible continuar aferrándonos al criterio de construir redes de saneamiento de la misma calidad que hace cincuenta años, ignorando la triste realidad de que los subsuelos de todas nuestras poblaciones están contaminados por un generoso riego con las aguas negras procedentes de las innumerables fugas de los conductos, tema ampliamente tratado en sendos artículos publicados en esta Revista en octubre de 1972 y abril de 1973, con los títulos "La red de saneamiento como causa de contaminación" y "La tubería de hormigón armado en saneamientos".

Para evitar esta lamentable circunstancia será suficiente que las tuberías que se instalen

para la evacuación de las aguas negras sean de la adecuada resistencia, de mayor longitud y con juntas permanentemente estancas. El precio que para ello habrá que pagar será notablemente menor de lo que se puede pensar de primera intención, ya que si el costo de una tubería de la calidad necesaria a los fines que perseguimos ha de ser indudablemente mayor, hay otras partidas del presupuesto que se reducen o anulan, como vamos a comentar a continuación con argumentos reales y estimaciones económicas actuales.

### 3.1. *Costo de tuberías de calidad.*

Tomando como base el costo del tubo de hormigón centrifugado de un metro de longitud, instalado en zanja incluso juntas, puede estimarse que su sustitución por tubo de hormigón armado de 4 a 5 m de longitud, en diámetros a partir de 500 mm, supondría un aumento del orden del 150 por 100.

Valorando la instalación del tubo de hormigón centrifugado en un discreto 30 por 100 de su precio en fábrica y teniendo en cuenta el mayor precio de adquisición e instalación del ovoide, el costo de éste instalado resultará un 90 por 100 más elevado que aquél, con lo que la diferencia desfavorable al hormigón armado queda reducida al 31 por 100 sobre el costo del ovoide.

### 3.2. *Soleras.*

Siendo realistas, las soleras deberían tener la misión de suplir la falta de resistencia a la flexión de las juntas empleadas hasta ahora, pero para cumplir adecuadamente esta función sería necesario unos espesores y una calidad del hormigón que en contados casos se alcanza, causa que contribuye a la fisura de las juntas y la pérdida de estanqueidad de la red.

Utilizando tuberías de hormigón armado con resistencia adecuada a la flexión longitudinal y junta elástica, las soleras de hormigón no son en absoluto necesarias, al igual que en las redes de distribución de agua potable.

Del estudio de los proyectos de saneamientos relacionados en el cuadro 4 de nuestro trabajo primeramente citado, y de otras fuentes de información obtenemos que el costo de

la solera exigida por el Ministerio de la Vivienda representa el 40 por 100 del costo del tubo instalado. Puede que parezca elevada esta relación, pero la explicación que resultará razonable a quienes proyectan este tipo de obras, es que en general, los precios en proyecto son más alambicados en las unidades de obra de prefabricados, con tarifas de venta conocidas, que las que se refieren a las obras de fábrica.

Nos encontramos ya con que la supresión, por innecesaria, de las soleras, reducirá el aumento de costo de la sustitución, al 110 por 100 del costo del tubo e igualándose prácticamente al del ovoide.

### 3.3. Rendimiento hidráulico.

En los saneamientos que se han construido en España, el estudio de la influencia de la rugosidad del conducto, ha quedado postergado o reducido a unas normas generales indiscriminadas que convendría matizar, puesto que si la adopción de un coeficiente más o menos real tiene escasa importancia para el transporte habitual de las aguas negras, por contra, resultará sumamente interesante, para calcular la sección que ha de evacuar el máximo caudal de aguas negras y de lluvia, establecido por el cálculo.

Por este motivo no vamos a enjuiciar el acierto de utilizar determinada rugosidad, sino que pretendemos establecer un criterio para calcular el caudal máximo a sección llena.

Hay pocas experiencias sobre la influencia del número de juntas en la pérdida de carga y a falta de otras que conozcamos nos hemos de basar en una recomendación Suiza de rebajar a 75 el coeficiente de Strickler para tubos de 1 m y aceptar hasta 90 el de tubos de 4 y 5 m para aguas limpias.

A sección llena el agua transportada se compondrá, siguiendo el criterio que antes hemos establecido, de 19 partes de agua de lluvia y una de negras, por lo cual puede considerarse a efectos de la pérdida de carga como aguas limpias, y por consiguiente es de aplicación esta recomendación, que consideramos encajada.

Esto quiere decir que el radio  $r_5$  de la conexión de tubo de 4 ó 5 m que conduce el mismo caudal que otra con tubos de un metro,

ha de ser menor y su proporción lo deducimos en forma similar a la aplicada anteriormente.

$$Q = V \cdot S = 75 \times (0,5 r_1)^{2/3} j^{1/2} \times 3,1416 r_1^2 = \\ = 90 (0,5 r_5)^{2/3} j^{1/2} \times 3,1416 r_5^2$$

de donde:

$$r_1 = 0,93 r_5$$

Es decir, que la economía de diámetro que puede introducirse es del 7 por 100 y relacionando los costos con el cuadrado del diámetro, esta reducción representa del orden del 13 por 100 del costo del tubo de hormigón en masa.

Si además tenemos en cuenta la notoria disminución de la pérdida de carga por menor rugosidad de la superficie interior del tubo de calidad, la reducción de diámetro será aún mayor.

### 3.4. Velocidad máxima.

La limitación de velocidad en los saneamientos es el resultado de la desconfianza en la resistencia a la abrasión de los tubos de baja calidad que se han venido utilizando.

Las experiencias extranjeras a este respecto, sobre tuberías de calidad, son de lo más satisfactorias, aceptándose velocidades de 8 y 10 m/s sin reparos.

Aparte de la flexibilidad para el trabajo del proyectista que proporciona la posibilidad de ajustar la pendiente de la zanja a la del terreno, ha de producir otra economía en diámetros, en la excavación por menor profundidad y una reducción de pozos de descenso, difícil de evaluar en costo, pero de indudable repercusión positiva que juntamente con otras, que no analizamos para no extendernos más, conseguirían introducir otras importantes reducciones de costo.

Como identificación con las ideas generales del apartado 3, citamos el reciente proyecto de saneamiento integral de la Costa del Sol occidental, que con un presupuesto próximo a los 300 millones de pesetas, ha sido proyectado recientemente con tuberías de amianto-cemento hasta 500 m/s  $\varnothing$  y hormigón armado en diámetros superiores, con eliminación del ovoide.

#### 4. Resumen.

Si tenemos presente que el capítulo de "Tuberías" en un saneamiento viene representando aproximadamente el 18 por 100 de su presupuesto, según establecimos en el primero de los artículos antes citados, y las consideraciones económicas que acabamos de exponer, puede afirmarse que la construcción de redes de saneamiento de garantía en cuanto a hermeticidad permanente, representaría un aumento del presupuesto inferior al 10 por 100, costo irrisorio si con ello limpiamos el subsuelo y mejoramos sanitariamente nuestras poblaciones.

Deseamos hacer constar que no ponemos especial énfasis en la exactitud de las estimaciones económicas que hemos dejado expuestas, pero tenemos la pretensión de haber planteado concreta y claramente unas interesantes ideas respecto a la verdadera utilidad del ovoide y al tema de las redes de saneamiento, de notoria actualidad.

Teníamos la intención de hacer un resumen final de la comparación realizada, pero nos damos cuenta de que lo expuesto resulta una especie de "Requiem" por el ovoide, que no precisa más epitafio.